



Contribuição do mapeamento digital de solos para aumento das informações em nível de município ⁽¹⁾.

Pedro Paulo Ramos Ribeiro Nascimento ⁽²⁾; **Ricardo Simão Diniz Dalmolin** ⁽³⁾; **Jean Michel Moura-Bueno** ⁽⁴⁾; **Carlos Alberto Flores** ⁽⁵⁾; **Ândrea Machado Pereira Franco** ⁽⁶⁾; **João Pedro Moro Flores** ⁽⁷⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

⁽²⁾ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo; Universidade Federal de Santa Maria; Santa Maria, RS; pedonpaulo@hotmail.com; ⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos; Universidade Federal de Santa Maria; ⁽⁴⁾ Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo; Universidade Federal de Santa Maria; ⁽⁵⁾ Pesquisador da Embrapa Clima Temperado; Pelotas, RS ⁽⁶⁾ Pós-Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo; Universidade Federal de Santa Maria; ⁽⁷⁾ Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

RESUMO: A demanda por informações e as novas tecnologias têm incentivado os trabalhos com Mapeamento Digital de Solos (MDS). As covariáveis mais utilizadas na predição de classes de solos são os atributos do terreno (AT) derivados de modelos digitais de elevação (MDE). Assim, o objetivo deste trabalho foi gerar um MDS aplicando técnica de árvore de decisão (AD). A área de estudo localiza-se no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul (RS), Brasil. O MDE foi obtido a partir de imagens do SRTM (resolução 30 metros), onde foram amostrados 400 pontos de observação extraídos do mapa de solos convencional contemplando todas as classes que ocorrem na área de estudo. Esse conjunto de pontos e os AT foram usados na geração do modelo preditivo por AD. A partir do mapa de treinamento observa-se que as amostras das classes mais representativas na área são os NEOSSOLO FLÚVICO (RY), PLANOSSOLO HÁPLICO (SX) e ARGISSOLO VERMELHO (PV). As demais amostras estão distribuídas antes as classes dos ARGISSOLO ACINZENTADO (PAC), ARGISSOLO BRUNO-ACINZENTADO (PBAC), ARGISSOLO AMARELO (PA) e ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (PVA) respectivamente, sendo a classe do NEOSSOLO LITÓLICO (RL) a que apresentou a menor representatividade na área. O MDS gerado por AD apresentou essa mesma distribuição das classes de solos, o que mostra a capacidade do modelo de discriminar as classes na paisagem utilizando os atributos do terreno. O MDS gerado apresentou valor de kappa = 51,9% e acurácia global = 60,5%

Termos de indexação: mapeamento de solos, atributos do terreno, árvore de decisão.

INTRODUÇÃO

A demanda por informações sobre os recursos naturais tem sido muito intensa nos últimos anos. O aumento da população e a utilização não

sustentável da terra têm impactando negativamente o ambiente, em especial o solo e as águas superficiais (Sanchez et al., 2009; Grunwald et al., 2012). Existe uma carência muito grande por informações mais detalhadas dos solos principalmente em nível de bacias hidrográficas e municípios. Os levantamentos de solos, por apresentarem informações básicas sobre o solo e sua distribuição no ambiente são fundamentais para o manejo sustentável das terras, desde que apresentem escala compatível e informações detalhadas do ambiente (Dalmolin et al., 2004). No Brasil, a totalidade de seu território está coberta por mapas de solos em escala muito pequena - 1:1.000.000 Projeto Radambrasil – insuficiente para qualquer tipo de planejamento, seja para a expansão agrícola ou monitoramento ambiental. No estado do Rio Grande do Sul, o único mapa que cobre todo estado está publicado na escala 1:750.000 BRASIL (1973), também incompatível para qualquer tipo de planejamento de uso do solo. Streck et al. (2008), mostram que no estado do RS há aproximadamente 105 trabalhos de levantamento de solos com mapas publicados predominantemente em escalas entre 1:250.000 a 1:50.000, cobrindo menos de 20% do seu território.

A demanda por essas informações têm incentivado os trabalhos com Mapeamento Digital de Solos (MDS). Essa ferramenta utiliza modelos numéricos e estatísticos com covariáveis ambientais as quais são aplicadas a um banco de dados geográficos objetivando a predição de classes e/ou atributos do solo. Os fundamentos do MDS são baseados no modelo SCORPAN discutidos por McBratney et al. (2003). As covariáveis mais utilizadas na predição de classes de solos utilizando a técnicas de MDS são os AT derivados dos MDE (ten Caten et al., 2012), que contemplam o fator de formação relevo.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi gerar um mapa digital de solos aplicando técnica de árvore de decisão utilizando os atributos do terreno



como covariáveis preditoras das classes de solo em nível de município na escala 1:50.000.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no município de Santa Maria, situado na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil. A área de abrangência do trabalho compreende parte (1/4) da Carta Topográfica Sanga da Laranjeira (folha SH.22-V-C-IV-3 – escala 1:50.000) do Serviço Geográfico do Exército (SGE). A área apresenta altitude média de 110 metros e está compreendida entre as coordenadas UTM zona 22S 218198, 6694421 a 235661, 6677852. O clima da região é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical. Na área de estudo ocorrem várias unidades geológicas, sendo estas: Sedimentos Quaternários e Cenozóicos, Formação Caturrita, Formação Santa Maria e Formação Sanga do Cabral.

O mapa de solos de referência (MSR) utilizado nesse trabalho foi elaborado pelo método convencional produzido por (Flores et al. 2015, dados ainda não publicados), na escala 1:50.000. Nos topos da área de estudo onde predomina relevo ondulado ocorrem as classes dos PV e PVA. No relevo suave ondulado ocorrem predominantemente os PA, PBAC e PAC podendo ser encontrados alguns RL nas quebras de cotas da paisagem. Os RY e SX estão associados as áreas mais planas e abaciadas da paisagem, associados principalmente as linhas de drenagens (Flores et al. 2015, dados ainda não publicados).

O MDE foi obtido a partir de imagens do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução de 30 m. As covariáveis ambientais foram extraídas do MDE de acordo com Wilson & Gallant (2000) por meio da ferramenta *Terrain Analysis – Compound Analyses* do SAGA-GIS: Elevação (ELEV), distância vertical da rede de drenagem (DIST), declividade (DECL), curvatura transversal (CT), aspecto (ASP), profundidade de vale (PROV), channel network base level (CNBL) fator LS (LS). Os AT foram normalizados antes de construir o modelo de predição das classes de solos.

Para o treinamento do modelo de predição foram utilizados 400 pontos de observação extraídos do MSR, contendo as classes de solos que ocorrem na área de estudo. Esse conjunto de pontos e os AT de cada ponto foram usados na geração da árvore de decisão (AD), utilizando o algoritmo J48 que está disponível no programa de mineração de dados WEKA. Para um bom desempenho da AD foi selecionado “verdadeiro” para poda da árvore (*reducedErrorPruning=True*).

O MDS gerado foi comparado com o mapa realizado pelo método convencional utilizando a matriz de confusão. Para a avaliação da acurácia utilizou-se o índice Kappa (Congalton & Green, 2008), que pode ser classificado de acordo com Landis & Koch (1977): $k \leq 0,2$: ruim; $0,2 < k \leq 0,4$: razoável; $0,4 < k \leq 0,6$: bom; $0,6 < k \leq 0,8$: muito bom e $k \geq 0,8$: excelente.

Neste estudo as classes de solo investigadas contemplaram apenas o 1º e 2º níveis categóricos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Embrapa, 2013).

A árvore de decisão foi elaborada no programa WEKA 2.0, o geoprocessamento dos dados e elaboração dos mapas digitais de solos foi realizado no programa Quantum GIS 2.8 e SAGAGIS 2.1.2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do mapa de treinamento obteve-se um total de 86.101 pixels distribuído conforme a seguir: 24.980 pixels referem-se a classe do RY, 18.097 ao SX, 16.371 PV, 13.937 PA, 4.370 ao PBAC, 4.103 ao PVA, 3.943 ao PAC e 300 do RL (**Tabela 1**). Observa-se que as classes mais representativas na área são os RY, SX e PV. As demais amostras estão distribuídas nas outras classes de solos, com a classe de RL apresentando a menor representatividade na área (**Tabela 1**).

Esses resultados são bem semelhantes aos encontrados no campo o que mostra a capacidade do modelo de discriminar as classes na paisagem utilizando somente os atributos do terreno.

A acurácia global (AG), que é a proporção de observações corretamente classificadas em relação ao número total de observações foi de 60,5% (**Tabela 1**). Valores de EG dentro deste intervalo de valores também foram encontrados por ten Caten et al. (2011).

Observando o MDS gerado para a área de estudo (**Figura 1**), verifica-se que o modelo preditivo desenvolvido, utilizando a técnica de AD conseguiu estabelecer a relação solo-paisagem a partir dos pontos de observação obtidos do MSR e realizou a espacialização das oito classes de solos, obtendo um índice Kappa de 51,9 % (**Tabela 1**), sendo esse valor classificado como bom (Landis & Koch, 1977).

Entre as oito classes de solos identificadas no MDS gerado (**Figura 1**), as mais representativas foram: RY, SX, PV e PVA, sendo as classes dos PA, PBAC, PAC e RL com menor representatividade (**Tabela 1**). Essa espacialização das classes de solos está de acordo as classes contidas no MSR obtido pelo método convencional de mapeamento, o que mostra a capacidade do modelo de discriminar as classes na paisagem utilizando somente os



atributos do terreno.

O desempenho do modelo preditivo teve maior acerto na classe dos RY, com 89% dos pixels classificados corretamente. Já para a classe do RL o modelo acertou apenas 5% dos pixels. A classe dos RL possui a menor representatividade na área, com apenas 300 pixels (Tabela 1). Nesse caso o modelo não foi capaz de gerar informações suficientes para estabelecer relações entre as covariáveis ambientais dessa classe de solo. Essa mesma situação foi observada por ten Caten et al. (2011) na predição de classes de solos, onde as menos representativas na paisagem têm a qualidade de sua predição afetada.

A não predição correta de algumas classes de solo pode estar relacionada as condições de relevo que é relativamente homogêneo na área e pode causar conflito entre as amostras das diferentes classes de solo. Isso pode ter ocorrido na discriminação entre as classes de RY e SX, que ocorrerem ambas em relevo plano. Da mesma forma, as classes PBAC, PVA e PA podem ocorrer em associação na paisagem em áreas de relevo suave ondulado, tornando a separação dessas classes pelo modelo preditivo mais difícil. Entre os atributos que se mostraram mais eficientes para a espacialização das classes de solos na área pela árvore de decisão destacaram-se a ELEV, PROV.

A inclusão de outras covariáveis preditoras como índice espectral de vegetação (NDVI) e informações de geologia, poderá contribuir para melhorar a acurácia do MDS para essa região. Essas informações serão incluídas em estudos futuros.

CONCLUSÕES

A acurácia do MDS quando comparada com o mapa de solos convencional foi classificada como boa, com valor de Kappa de 51,9% e acurácia global de 60,5%.

As classes de solos com maior representatividade no mapa utilizado para treinar o modelo preditivo, apresentaram menor erro de predição no MDS gerado.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa e ao CNPq pelo suporte financeiro e concessão da bolsa PQ ao segundo autor.

REFERÊNCIAS

CONGALTON, R. G. & GREEN, K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. 2. ed. Boca Raton: Taylor and Francis, 2008. 200p.

DALMOLIN, S. R. D. et al. Relação entre as características e o uso das informações de levantamentos de solos de diferentes escalas. *Ciência Rural*, Santa Maria, 34(5):1479-1486, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

GRUNWALD, S. et al. Digital Soil Mapping in a Changing World. In: MINASNY, B. et al. (Eds) *Digital Soil Assessments and Beyond: Proceedings of the 5th Global Workshop on Digital Soil Mapping*. CRC Press, Sydney, Australia. 2012. 482p.

LANDIS, J. R. & KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33:159-174, 1977.

MCBRATNEY, A. B.; MENDONÇA SANTOS, M. L. & MINASNY, B. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117: 3-52, 2003.

SANCHEZ, P.A. et al. Digital soil map of the world. *Science*, 325 :680-681, 2009.

STRECK, E. V. et al. *Solos do Rio Grande do Sul*. 2 ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222p.

TEN CATEN, A. et al. Extrapolação das relações solo-paisagem a partir de uma área de referência. *Ciência Rural*, 41:812-816, 2011.

TEN CATEN, A. et al. Mapeamento digital de classes de solos: características da abordagem brasileira. *Ciência Rural*, 42(11): 1989-1997, 2012.

WILSON, J. P. & GALLANT, J. C. Digital terrain analysis. In: WILSON, J. P. & GALLANT, J. C., eds. *Terrain analysis: Principles and applications*. New York, Wiley & Sons, 2000. 1-27p.

Tabela 1 – Matriz de confusão e parâmetros que avaliam acurácia do MDS gerado.

Classes de solo*	SX	RL	RY	PA	PVA	PAC	PV	PBAC	Total de amostras (pixel)
SX	11040	61	3725	614	228	0	108	96	15872
RL	979	112	86	206	82	0	650	0	2115
RY	473	64	20107	1892	0	0	0	0	22536
PA	152	39	878	6876	487	673	2277	1490	12872
PVA	4411	19	160	2153	1574	836	3595	622	13370
PAC	0	5	24	286	1	1824	654	0	2794
PV	264	0	0	1851	1651	610	8776	380	13532
PBAC	778	0	0	59	80	0	311	1782	3010
Total de amostras (pixel)	18097	300	24980	13937	4103	3943	16371	4370	

K = 51,9 % AG= 60,5%

*PBAC: Argissolo Bruno-Acinzentado; PAC: Argissolo Acinzentado; PA: Argissolo Amarelo; PV: Argissolo Vermelho; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; RL: Neossolo Litólico; RY: Neossolo Flúvico; SX: Planossolos Háplicos; K: kappa; AG: Acurácia Global.

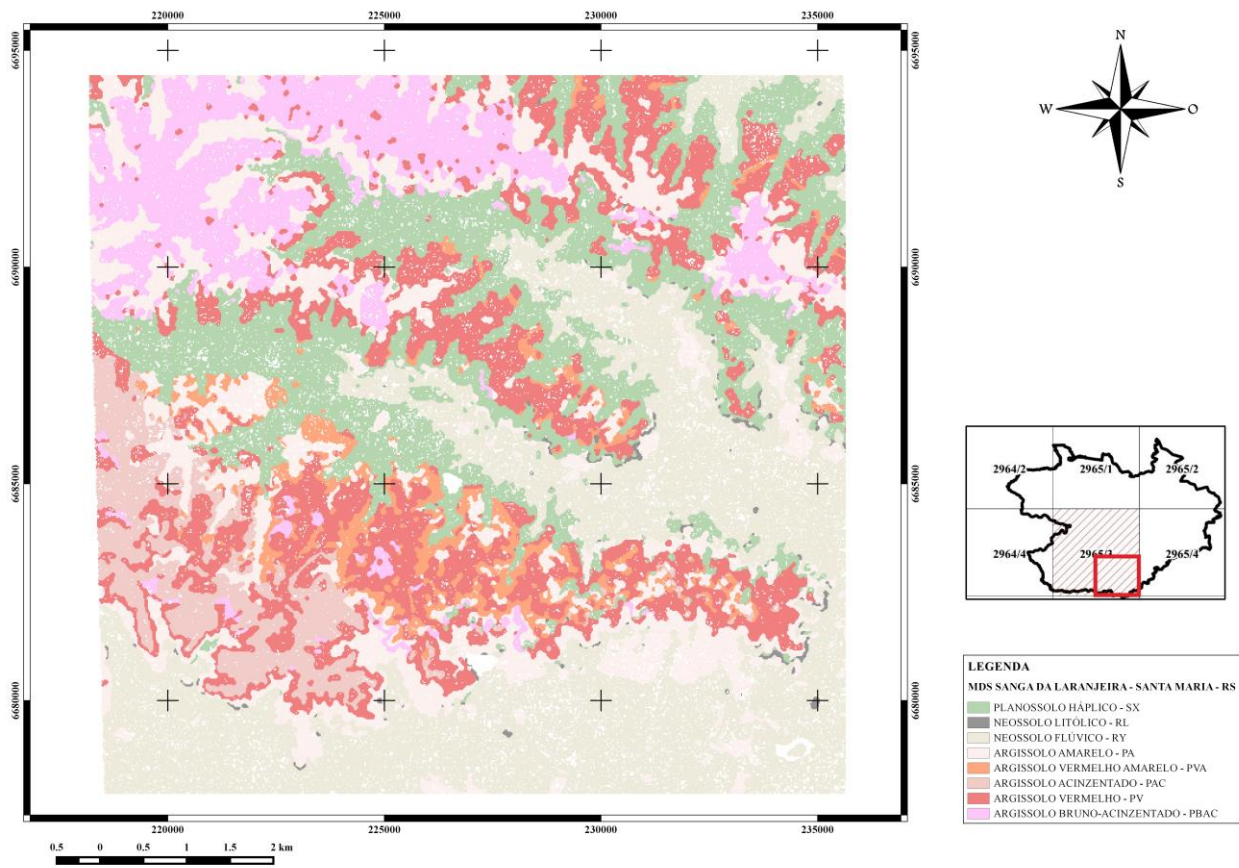


Figura 1 – Mapa digital de solos gerado da área de estudo na escala 1:50.000.